



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 198 13 703 A 1

51 Int. Cl.⁶:
G 01 R 23/20
H 03 F 1/32
H 03 F 3/24

21 Aktenzeichen: 198 13 703.6
22 Anmeldetag: 27. 3. 98
43 Offenlegungstag: 4. 2. 99-

66 Innere Priorität:
197 32 465. 7 28. 07. 97

71 Anmelder:
Rohde & Schwarz GmbH & Co KG, 81671 München,
DE

74 Vertreter:
Mitscherlich & Partner, Patent- und Rechtsanwälte,
80331 München

72 Erfinder:
Bauer, Helmut, 83629 Weyarn, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

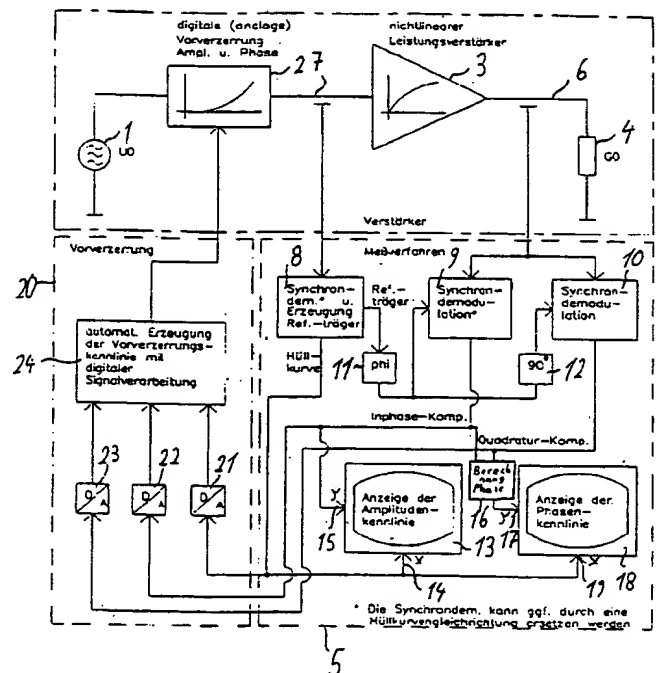
DE 31 14 244 A1
DE 30 33 999 A1
WO 97 49 174 A1

SCHNIESSEK, Christian: Gruppenlaufzeit und ihre
Messung. In: mikrowellen magazin, Vol.12, No.2,
1986, S.122-125;
GOMMLICH, Hans, VOGEL, Steffen: Verzerrungs-
messungen - wichtige Aufgabe in der
Übertragungs-
technik. In: Elektronik 8/23.4.1982, S.110-118;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Meßverfahren und Meßeinrichtung zum Messen der Verzerrung eines Hochfrequenz-Leistungsverstärkers und Entzerrungsverfahren und Entzerrungseinrichtung zum automatischen Entzerren eines Hochfrequenz-Leistungsverstärkers

57 Eine Entzerrungseinrichtung zum automatischen Entzerren eines Hochfrequenz-Leistungsverstärkers weist eine Einrichtung zur Erzeugung eines Referenzträgers aus einem gemessenen Eingangssignal (7) des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers, und einen ersten Synchron-demodulator (8) zur Erzeugung einer Eingangs-Hüllkurve aus dem gemessenen Eingangssignal (7) und dem Referenzsignal auf. Ferner sind ein zweiter Synchron-demodulator (9) zur Erzeugung einer Inphase-Komponente einer Ausgangs-Hüllkurve aus dem gemessenen Ausgangssignal (6) des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers (3) und dem Referenzträger sowie ein Phasenschieber (12) zur Verschiebung der Phase des Referenzträgers um 90° vorgesehen. Ein dritter Synchron-demodulator (10) dient zur Erzeugung einer Quadratur-Komponente der Ausgangs-Hüllkurve aus dem gemessenen Ausgangssignal (6) des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers (3) und dem um 90° phasenverschobenen Referenzträger. Eine Steuereinrichtung (24) dient zur Erzeugung eines Amplituden-Korrektur-Steuersignals und/oder eines Phasenkorrektur-Steuersignals aus der Eingangs-Hüllkurve, der Inphase-Komponente der Ausgangs-Hüllkurve und/oder der Quadratur-Komponente der Ausgangs-Hüllkurve. Die Aussteuer-Kennlinie und/oder Phasen-Kennlinie einer Vorverzerrungs-Einrichtung (2) wird durch den Amplituden-Korrekturfaktor und den Phasen-Korrekturfaktor invers zu der Aussteuer-Kennlinie und/oder der Phasen-Kennlinie des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers (3) eingestellt.



DE 198 13 703 A 1

DE 198 13 703 A 1

Die Erfindung betrifft ein Meßverfahren zum Messen der Verzerrung eines Hochfrequenz-Leistungsverstärkers und eine entsprechende Meßeinrichtung. Ferner betrifft die Erfindung ein Entzerrungsverfahren zum automatischen Entzerren eines Hochfrequenz-Leistungsverstärkers und eine entsprechende Entzerrungseinrichtung.

Hochfrequenz-Leistungsverstärker weisen üblicherweise eine nicht vollständig lineare Kennlinie auf. Es kommt daher zu einer Verzerrung des durch den Hochfrequenz-Leistungsverstärker verstärkten Hochfrequenzsignals. Durch die Nichtlinearitäten des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers entsteht ein unerwünschtes Störspektrum. Bei Multiträgersignalen, wie sie bei der digitalen Übertragung von Audio- und Videosignalen Verwendung finden, äußert sich das Störspektrum in außerhalb des Übertragungsbandes liegenden Außenbandstörungen und in innerhalb des Übertragungsbandes liegenden Inbandsstörungen. Um eine einwandfreie Übertragung des Multiträgersignals zu gewährleisten, muß das Störspektrum einen vorgegebenen Pegelabstand von dem Nutzsignal aufweisen. An die Linearität des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers in der Endstufe eines Verstärkers für DAB (Digital Audio Broadcasting)-Signale und DVB (digital video broadcasting)-Signale sind daher relativ hohe Anforderungen zu stellen.

Bisher war es beim Abgleich derartiger Hochfrequenz-Leistungsverstärker üblich, dem Eingang ein Multiträger-Abgleichsignal zuzuführen und das Ausgangssignal des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers mit einem Spektrum-Analysator zu beobachten. In dem Signalweg vor dem Hochfrequenz-Leistungsverstärker wurde eine Vorverzerrungseinrichtung angeordnet, die eine Vorverzerrung des zu verstärkenden Hochfrequenzsignals erlaubt. Die Vorverzerrungskennlinie ist z. B. durch ein Dioden-Widerstandsnetzwerk mit veränderlichen Widerständen festgelegt, so daß der Kurvenverlauf der Vorverzerrungskennlinie durch eine Vielzahl von Parametern variabel einstellbar ist. Durch Verstellen der Einstellungsparameter des Vorverzerrungsnetzwerks wurde dann iterativ versucht, einen möglichst großen Schulterabstand zwischen dem Nutzsignal und dem Störsignal in dem Ausgangsspektrum des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers zu erreichen. Da es keine Strategie für die Einstellung der einzelnen Parameter des Vorverzerrungsnetzwerks gibt und sich die Einstellungen der einzelnen Parameter gegenseitig beeinflussen, ist diese Vorgehensweise äußerst zeitaufwendig und somit kostenaufwendig. Ferner ist eine einmal gefundene Einstellung von der Temperatur, der Alterung der Bauelemente des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers und anderen Einflüssen abhängig.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein geeignetes Meßverfahren zum Messen der Verzerrung eines Hochfrequenz-Leistungsverstärkers und ein geeignetes Entzerrungsverfahren zum automatischen Entzerren eines Hochfrequenz-Leistungsverstärkers sowie eine entsprechende Meßeinrichtung und eine entsprechende Entzerrungseinrichtung anzugeben.

Die Aufgabe wird hinsichtlich des Meßverfahrens durch die Merkmale des Anspruchs 1, hinsichtlich des Entzerrungsverfahrens durch die Merkmale des Anspruchs 8, hinsichtlich der Meßeinrichtung durch die Merkmale des Anspruchs 16 und hinsichtlich der Entzerrungseinrichtung durch die Merkmale des Anspruchs 17 gelöst.

Das erfindungsgemäße Meßverfahren nach Anspruch 1 hat den Vorteil, daß die Aussteuer-Kennlinie des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers unmittelbar angezeigt wird. Der Operator hat daher bei dem Abgleich des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers bzw. einer vor dem Hochfrequenz-Leistungsverstärker angeordneten Vorverzerrungseinrichtung ein wirksames Abgleichkriterium, nämlich eine möglichst weitgehende Linearisierung der Aussteuerkennlinie zu erreichen.

Die Ansprüche 2 bis 7 beinhalten vorteilhafte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Meßverfahrens.

Vorteilhafterweise erfolgt die Erzeugung der Ausgangs-Hüllkurve und der Eingangs-Hüllkurve entsprechend den Ansprüchen 2 und 3 mittels Synchronmodulation. Zur Anzeige des Phasenwinkels entsprechend den Ansprüchen 4 und 5 wird von der Ausgangs-Hüllkurve sowohl eine Inphase-Komponente als auch eine Quadratur-Komponente erzeugt. Aus dem Verhältnis dieser beiden Komponenten läßt sich der Phasenwinkel des Ausgangssignals ermitteln. Vorteilhafterweise erfolgt die Synchronmodulation der Inphase-Komponente und der Quadratur-Komponente entsprechend Anspruch 6 in getrennten Synchronmodulatoren. Vorzugsweise wird ferner entsprechend Anspruch 7 der Referenzträger einer Phasenverschiebung unterworfen, die der Signallaufzeitverzögerung durch den Hochfrequenz-Verstärker entspricht.

Der Vorteil des erfindungsgemäßen Entzerrungsverfahrens nach Anspruch 8 besteht darin, daß in einem Abgleichmodus durch ein geeignetes Abgleichsignal ein Amplituden-Korrekturfaktor für das Eingangssignal des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers gewonnen wird und das Eingangssignal einer automatischen Amplitudenvorverzerrung unter Berücksichtigung des Amplituden-Korrekturfaktors unterworfen wird. Der Abgleich der Vorverzerrungseinrichtung erfolgt automatisch, wodurch sich der Zeitaufwand für die Inbetriebnahme wesentlich verringert.

Die Ansprüche 9 bis 15 beinhalten vorteilhafte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Entzerrungsverfahrens. Vorzugsweise wird entsprechend Anspruch 9 zusätzlich ein Phasen-Korrekturfaktor gewonnen und das Eingangssignal einer automatischen Phasenvorverzerrung unter Verwendung des Phasen-Korrekturfaktors unterworfen.

Entsprechend Anspruch 11 werden der Amplituden-Korrekturfaktor und ggf. der Phasen-Korrekturfaktor einer Vorverzerrungseinrichtung zugeführt, deren Aussteuer-Kennlinie und ggf. Phasen-Kennlinie invers zu der Aussteuer-Kennlinie und Phasen-Kennlinie des Hochfrequenz-Verstärkers automatisch eingestellt werden. Dazu werden vorzugsweise entsprechend Anspruch 12 die Eingangs-Hüllkurve und die Ausgangs-Hüllkurve digitalisiert und zur Berechnung des Amplituden-Korrekturfaktors und ggf. des Phasen-Korrekturfaktors einem Steuerrechner zugeführt.

Als Abgleichsignal kann in besonders einfacher Weise entsprechend Anspruch 13 ein amplitudenmoduliertes Einfachträgersignal dienen. Ein anderes besonders geeignetes Abgleichsignal ist ein Multiträgersignal entsprechend Anspruch 14, bei welchem sich sämtliche Träger im gleichen Phasenzustand befinden. Dieses Abgleichsignal kommt dem Nutzsignal relativ nahe, weist jedoch keine Phasenschwankungen auf und ist daher für den Abgleich besonders geeignet. Grundsätzlich kommt als Abgleichsignal jedoch auch das Nutzsignal in Betracht.

Wenn der Hochfrequenz-Leistungsverstärker modular aus mehreren parallel angeordneten, baugleichen Teilverstärkern zusammengesetzt ist, ist es nach Anspruch 15 ausreichend, nur einen der Teilverstärker mit dem erfindungsgemäßen Entzerrungsverfahren abzugleichen und die Vorverzerrungsfaktoren für die Eingangssignale der anderen Teilverstärker

in gleicher Weise zu übernehmen.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Meßeinrichtung und der erfindungsgemäßen Entzerrungseinrichtung.

Fig. 2 die Aussteuerkennlinie eines nicht entzerrten Hochfrequenz-Leistungsverstärkers,

Fig. 3 die Phasen-Kennlinie eines nicht entzerrten Hochfrequenz-Leistungsverstärkers,

Fig. 4 ein Multiträger-Eingangssignal eines nicht entzerrten Hochfrequenz-Leistungsverstärkers,

Fig. 5 das Ausgangsfrequenzspektrum eines nicht entzerrten Hochfrequenz-Leistungsverstärkers bei dem in Fig. 4 dargestellten Multiträger-Eingangssignal,

Fig. 6 die Aussteuerkennlinie des nicht entzerrten Hochfrequenz-Leistungsverstärkers bei dem Multiträger-Eingangssignal entsprechend Fig. 4,

Fig. 7 die Phasenkennlinie des nicht entzerrten Hochfrequenz-Leistungsverstärkers bei dem Multiträger-Eingangssignal entsprechend Fig. 4,

Fig. 8 die vorverzerrte Hüllkurve des in Fig. 4 dargestellten Multiträger-Eingangssignals bei einer Amplituden-Vorverzerrung,

Fig. 9 das Ausgangsspektrum des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers bei einem in der Amplitude vorverzerrten Multiträger-Eingangssignal,

Fig. 10 die Aussteuer-Kennlinie des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers bei einem in der Amplitude vorverzerrten Multiträger-Eingangssignal,

Fig. 11 das Ausgangsspektrum des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers bei einem Multiträger-Eingangssignal, das sowohl in der Amplitude als auch in der Phase vorverzerrt ist,

Fig. 12 die Phasenkennlinie des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers bei einem Multiträger-Eingangssignal, das sowohl in der Amplitude als auch in der Phase vorverzerrt ist und

Fig. 13 ein Ersatzschaltbild des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers.

Fig. 1 zeigt ein Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Meßeinrichtung zum Messen der Verzerrung eines Hochfrequenz-Leistungsverstärkers. In dem gleichen Blockschaltbild sind auch die zusätzlichen Komponenten für die erfindungsgemäße Entzerrungseinrichtung zum automatischen Entzerren des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers dargestellt.

Ein von einer Signalquelle 1 erzeugtes Abgleichssignal wird über eine Vorverzerrungseinrichtung 2 dem Eingang eines Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3 zugeführt. An dem Ausgang des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3 befindet sich ein Lastwiderstand 4, z. B. der Speisewiderstand einer Sendeantenne. Wie in Fig. 1 schematisch verdeutlicht, hat der Leistungsverstärker baulich bedingt eine nicht vollständig linearisierte Aussteuerkennlinie und eine Phasenkennlinie. Als Aussteuerkennlinie wird im folgenden die Ausgangsleistung des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers als Funktion seiner Eingangsleistung verstanden. Die Aussteuerkennlinie läßt sich jedoch auch als Ausgangsamplitude als Funktion der Eingangsamplitude definieren. Als Phasenkennlinie wird im folgenden die Ausgangsphasenkennlinie, d. h. die Ausgangsphase des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers als Funktion seiner Ausgangsleistung verstanden. Die Phasenkennlinie läßt sich auch als Ausgangsphase als Funktion der Ausgangsamplitude oder der Funktion der Eingangsleistung oder Eingangsamplitude definieren.

Sowohl das Eingangssignal 7 des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3 als auch das Ausgangssignal 6 des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers werden gemessen und der erfindungsgemäßen Meßeinrichtung 5 zugeführt. Das Eingangssignal 7 wird zunächst in die Eingangs-Hüllkurve und den Referenzträger aufgeteilt. Dabei wird davon ausgegangen, daß sich das Eingangssignal $U_E(t)$ als Produkt der Eingangs-Hüllkurve $U_{HE}(t)$ und eines Winkelmodulationsanteils darstellen läßt:

$$U_E(t) = U_{HE}(t) \sin(\omega t + \varphi(t))$$

Die Eingangs-Hüllkurve $U_{HE}(t)$ läßt sich daher mittels eines ersten Synchronmodulators 8 erzeugen, welchem der von dem Eingangssignal separierte Referenzträger und das Eingangssignal $U_E(t)$ zugeführt werden.

In entsprechender Weise wird das Ausgangssignal einem zweiten Synchronmodulator 9 und einem dritten Synchronmodulator 10 zugeführt. Der Referenzträger wird vorzugsweise in einem Phasenschieber 11 um einen Phasenbetrag verschoben, der der Signallaufzeit in dem Hochfrequenz-Leistungsverstärker 3 entspricht. In dem zweiten Synchronmodulator 9 erfolgt eine Synchrondemodulation mit dem gemessenen Ausgangssignal 6 und dem um die Signallaufzeit phasenverschobenen Referenzträger. Das Ausgangssignal des Synchronmodulators 9 ist eine Inphase-Komponente der Hüllkurve des Ausgangssignals. Das Ausgangssignal des ersten Phasenschiebers 11 wird einem zweiten Phasenschieber 12 zugeführt, der den Referenzträger zusätzlich um 90° in der Phase verschiebt. Dem dritten Synchronmodulator 10 wird das gemessene Ausgangssignal 6 und der um 90° zusätzlich phasenverschobene Referenzträger zugeführt, so daß der dritte Synchronmodulator 10 eine Quadratur-Komponente der Hüllkurve des Ausgangssignals erzeugt.

Die Synchrondemodulatoren 8 und 9 können zur Vereinfachung bzw. aus Kostengründen auch durch Hüllkurvengleichrichter ersetzt werden.

An einer ersten Anzeigeeinrichtung 13, z. B. einem Oszillographen, einem Speicheroszillographen oder einem Computerbildschirm, wird die Amplituden-Kennlinie des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3 dargestellt. Dazu wird einem x-Eingang 14 der ersten Anzeigeeinrichtung 13 die durch den ersten Synchronmodulator 8 gewonnene Eingangs-Hüllkurve und dem y-Eingang der ersten Anzeigeeinrichtung 13 die durch den zweiten Synchronmodulator 9 gewonnene Inphase-Komponente der Ausgangs-Hüllkurve zugeführt. Dargestellt wird daher die Ausgangsamplitude des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3 als Funktion der Eingangsamplitude des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3. Wenn anstatt der Amplituden-Kennlinie die Aussteuerkennlinie des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3 in der Form dargestellt werden soll, daß die Ausgangsleistung des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers als Funktion der Eingangsleistung aufge-

zeigt wird, so sind die Eingangssignale an den Eingängen 14 und 15 durch entsprechende, nicht dargestellte Quadrierglieder in der Amplitude zu quadrieren.

Die durch den dritten Synchrondemodulator 10 erzeugte Quadratur-Komponente der Ausgangs-Hüllkurve dient zusammen mit der durch den zweiten Synchrondemodulator 9 erzeugten Inphase-Komponente zur Erzeugung der Phasenkennlinie. Dazu wird in einer Einrichtung 16 der Phasenwinkel β mittels der nachfolgenden Gleichung analog oder digitaler ermittelt:

$$\beta(t) = \arctan(U_{\text{Quadratur}}/U_{\text{Inphase}})$$

Dabei stellt die Quadratur-Komponente $U_{\text{Quadratur}}$ den Imaginärteil der Ausgangs-Hüllkurve und die Inphase-Komponente U_{Inphase} den Realteil der Ausgangs-Hüllkurve dar, so daß mit der Formel (2) der Ausgangsphasenwinkel β berechnet werden kann. Der so gewonnene Ausgangsphasenwinkel wird dem y-Eingang 17 einer zweiten Anzeigevorrichtung 18 zugeführt. Dem x-Eingang 19 der zweiten Anzeigevorrichtung 18 wird die durch den ersten Synchrondemodulator 8 erzeugte Eingangs-Hüllkurve zugeführt. In den in den Fig. 3, 7 und 12 dargestellten Diagrammen ist die Ausgangsphase β als Funktion der Ausgangsleistung dargestellt. Dazu ist dem x-Eingang der zweiten Anzeigevorrichtung 18 die in einem nicht dargestellten Quadrierglied quadrierte Inphase-Komponente der Ausgangs-Hüllkurve zuzuführen.

Das erfindungsgemäße Meßverfahren bzw. die erfindungsgemäße Meßeinrichtung 5 gestattet es dem Operator eine Einstellung der Vorverzerrungseinrichtung 2 so vorzunehmen, daß die Aussteuer-Kennlinie bzw. die Amplituden-Kennlinie möglichst linear verläuft und die durch den Hochfrequenz-Leistungsverstärker 3 hervorgerufene Phasenverschiebung für alle Amplituden des Eingangssignal bzw. für alle Ausgangsleistungen möglichst konstant, vorzugsweise Null, ist. Dabei ist die Summe der Amplitudenverzerrungen durch die Vorverzerrungseinrichtung 2 und den Hochfrequenz-Leistungsverstärker 3 und die Summe der Phasenverzerrung durch die Vorverzerrungseinrichtung 2 und den Hochfrequenz-Leistungsverstärker 3 möglichst gering. Dies erlaubt dem Operator eine zügige Einstellung der Vorverzerrungseinrichtung 2 unter Berücksichtigung der vorstehend genannten Abgleichkriterien. Der Abgleich der Vorverzerrungseinrichtung 2 erfolgt wesentlich zügiger und zielgerichteter als bei der alleinigen Beobachtung des Schulterabstands zwischen dem Nutzsignal und dem Störsignal im Ausgangsspektrum des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3. Selbstverständlich kann das Ausgangsspektrum des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3 auch bei der erfindungsgemäßen Vorgehensweise als zusätzliches Kriterium herangezogen werden.

Die Einstellung der Vorverzerrungseinrichtung 2 muß jedoch nicht notwendigerweise manuell nach den vorstehend beschriebenen Abgleichkriterien erfolgen sondern kann mittels des erfindungsgemäßen Entzerrungsverfahrens und der aus der bereits beschriebenen Meßeinrichtung 5 und der Vorverzerrungseinrichtung 2 bestehenden erfindungsgemäßen Entzerrungseinrichtung 5, 20 auch automatisch erfolgen.

In dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel werden daher die Eingangs-Hüllkurve in einem ersten Analog/Digital-Wandler 21, die Inphase-Komponente der Ausgangs-Hüllkurve in einem zweiten Analog/Digital-Wandler 23 digitalisiert. Die digitalisierten Hüllkurvensignale werden einem Steuerrechner 24 zur Durchführung einer digitalen Signalverarbeitung zugeführt. Der Steuerrechner 24 berechnet einen Amplituden-Korrekturfaktor und/oder einen Phasen-Korrekturfaktor, mit welchen das Nutzsignal in der Vorverzerrungseinrichtung 2 multipliziert und dadurch vorverzerrt wird.

Der von der Amplitude des Eingangssignals abhängige Amplituden-Korrekturfaktor wird in einfacher Weise dadurch gewonnen, daß die Umkehrfunktion der mittels der Meßeinrichtung 5 gewonnen Amplituden-Kennlinie erzeugt wird. Die Amplituden-Kennlinie der Vorverzerrungseinrichtung 2 ist daher invers zu der Amplituden-Kennlinie des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3, was in Fig. 1 schematisch angedeutet ist. Die Umkehrfunktion kann dadurch in einfacher Weise erzeugt werden, das in einem Speicher die Eingangswerte und die Ausgangswerte vertauscht werden. Um eine eindeutige Zuordnung der Eingangswerte zu den Ausgangswerten zu erreichen, kann vorher die Amplituden-Kennlinie an vorgegebenen Stützstellen abgetastet und gemittelt werden und nachfolgend einer Interpolation unterzogen werden.

Der Phasen-Korrekturfaktor ist $e^{-j\beta}$, wobei β die mittels der Meßeinrichtung 5 gewonnene Ausgangsphase des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3 als Funktion der Amplitude des Eingangssignals ist. Anstatt einer digitalen Ansteuerung der Vorverzerrungseinrichtung 2 kann die Ansteuerung selbstverständlich auch mittels eines analogen Netzwerkes erfolgen.

Der Vorteil der automatischen Erzeugung der Vorverzerrungskennlinie für die Vorverzerrungseinrichtung 2 besteht darin, daß ein automatischer Abgleich bei Inbetriebnahme des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3 relativ rasch durchgeführt werden kann und bei Bedarf die Vorverzerrungskennlinie von Zeit zu Zeit automatisch nachgestellt werden kann, wenn sich z. B. die Betriebstemperatur des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3 ändert oder die Bauteile, insbesondere das aktive Verstärkungselement, des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3 aufgrund einer Alterung sich in ihre Kennlinie verändern.

Als Abgleichssignal kann im Abgleichmodus grundsätzlich das Nutzsignal dienen. Vorteilhafterweise wird jedoch ein spezielles Abgleichssignal, z. B. ein amplitudenmodulierter Einfachträger oder ein schmalbandiges Multiträger-Signal verwendet, bei welchem sich sämtliche Träger in einem definierten, vorzugsweise dem gleichen Phasenzustand befinden. Wenn der Hochfrequenz-Leistungsverstärker 3 aus mehreren parallel angeordneten, baugleichen Teilverstärker modular aufgebaut ist, kann der Abgleich auch nur an einem einzigen Teilverstärker vorgenommen werden und die gewonnenen Vorverzerrungskennlinien für die zugeordnete Vorverzerrungseinheit 2 für die jeweils anderen Teilverstärker übernommen werden.

Zum besseren Verständnis der Erfindung und zur Darstellung der Wirkungsweise der Erfindung sind in den Fig. 2 bis 12 mehrere Simulationsergebnisse dargestellt, die durch Meßergebnisse an einem realen Hochfrequenz-Leistungsverstärker 3 verifiziert wurden. Bei der Simulation des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3 wurde von dem in Fig. 13 dargestellten Ersatzschaltbild ausgegangen. Das Signal A (t) der Eingangssignalquelle 30 wird über ein Widerstandsnetzwerk R_i und R_{in} auf ein Verstärkungselement 31 gegeben. Über die Kapazität C_{r1} erfolgt eine Rückkopplung von dem Ausgang auf den Eingang des Verstärkungselements 31. Das Ausgangsnetzwerk des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers

3 besteht aus drei als π -Filter zusammengeschaltete Schwingkreise 32, 33 und 34, wobei die Schwingkreise 32 und 34 als Parallelschwingkreise und der Schwingkreis 33 als Serienschwingkreis ausgebildet sind. Die Schwingkreise 32-33 sind jeweils durch ihre Mittenfrequenzen f_{01p} , f_{0k} , f_{02p} und ihre Güten Q_{1p} , Q_k und Q_{2p} charakterisiert.

Fig. 2 zeigt die Ansteuerkennlinie eines nicht entzerrten Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3, d. h. eines Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3 ohne Vorverzerrungseinrichtung 2. Die Eingangsleistung und die Ausgangsleistung sind jeweils normiert. Fig. 3 zeigt die Phase am Ausgang des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3 als Funktion der normierten Ausgangsleistung. Das Eingangssignal des in den Fig. 2 und 3 dargestellten Simulationsbeispiels ist ein Amplitudenmoduliertes Einfachträgersignal.

In Fig. 2 ist deutlich erkennbar, daß die Aussteuer-Kennlinie eine S-förmige Krümmung aufweist und nicht linear ist. Es treten daher erhebliche Amplitudenverzerrungen auf. Die in Fig. 3 dargestellte Phasen-Kennlinie zeigt, daß die Ausgangsphase erheblich von der Ausgangsleistung des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3 abhängig ist. Es treten daher erhebliche Phasenverzerrungen auf.

In Fig. 4 ist ein Multiträger-Signal mit insgesamt 8 Nutzträgern dargestellt. Die einzelnen Träger sind 4PSK moduliert und können daher jeweils vier unterschiedliche Phasenzustände einnehmen. Bei dem in Fig. 4 dargestellten Beispielssignal wurde folgende zufällige Verteilung der den einzelnen Trägern zugeordneten Phasen angenommen:

Frequenz in MHz	Phase
396	0
397	0
398	π
399	$\frac{1}{2}\pi$
401	0
402	π
403	$\frac{1}{2}\pi$
404	0

Fig. 5 zeigt das Ausgangsspektrum des nicht entzerrten Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3, d. h. ohne Vornahme einer Vorverzerrung des Eingangssignals. Obwohl tatsächlich bei DAB- und DVB-Systemen verwendete Multiträgersignale aus bis zu 8000 Trägern zusammengesetzt sind, zeigt die hier vorgenommene Simulation mit nur acht Trägerfrequenzen dennoch die grundsätzliche Wirkungsweise der Erfindung. Bei dem in Fig. 5 dargestellten Ausgangsspektrum zeigt sich, daß, wie erwartet, neben den acht Trägerfrequenzen des Nutzsignals ein Störspektrum auftritt, das gegenüber dem Nutzsignal nur einen Schulterabstand von etwa 18 dB aufweist. Ein derart geringer Schulterabstand ist in der Praxis vollkommen ungenügend.

Fig. 6 zeigt die zugehörige Aussteuer-Kennlinie und Fig. 7 zeigt die zugehörige Phasen-Kennlinie. Auch hier zeigt sich, daß die Aussteuer-Kennlinie große Nicht-Linearitäten aufweist und die Ausgangsphase in erheblichem Maße von der Ausgangsleistung abhängig ist.

Fig. 8 zeigt die mit dem Bezugszeichen 40 versehene unverzerrte Eingangs-Hüllkurve des in Fig. 4 dargestellten Multiträger-Signals. Mit dem Bezugszeichen 41 ist die Eingangs-Hüllkurve eines mit dem erfindungsgemäßen Verfahren in der Amplitude vorverzerrten Eingangssignals dargestellt. In dem in Fig. 9 dargestellten Ausgangsspektrum des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3 ergibt sich ein deutlich vergrößerter Schulterabstand von 36 dB zwischen dem Nutzsignal und dem Störspektrum. Wie Fig. 10 erkennen läßt, ist die Ansteuer-Kennlinie aufgrund der Vorverzerrung im Vergleich zu Fig. 6 wesentlich besser linearisiert.

Fig. 11 zeigt das Ausgangsspektrum des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers 3, wenn neben einer Amplituden-Vorverzerrung zusätzlich eine Phasen-Vorverzerrung vorgenommen wird. Der Schulterabstand zwischen dem Nutzsignal und dem Störspektrum läßt sich auf ca. 40 dB vergrößern. Die in Fig. 12 dargestellte Phasen-Kennlinie zeigt die zugehörige Ausgangsphase, die im Mittel etwa Null ist und wesentlichen leistungsabhängigen Schwankungen unterworfen ist als die in Fig. 7 für den nicht vorverzerrten Hochfrequenz-Leistungsverstärker 3 dargestellte Phasen-Kennlinie.

Patentansprüche

1. Meßverfahren zum Messen der Verzerrung eines Hochfrequenz-Leistungsverstärkers (3) mit folgenden Verfahrensschritten:

- Messen eines Eingangssignals (7) und eines zugehörigen Ausgangssignals (6) des Hochfrequenz-Verstärkers (3),
- Aufteilen des Eingangssignals (7) des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers (3) in eine Eingangs-Hüllkurve und einen Referenzträger,
- Erzeugen einer Ausgangs-Hüllkurve aus dem Ausgangssignal (6) des Hochfrequenz-Verstärkers (3) unter Verwendung des aus dem Eingangssignal erzeugten Referenzträgers, und
- Anzeigen (13) einer Aussteuer-Kennlinie des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers (3) in Form der Amplitude oder Leistung der Ausgangs-Hüllkurve als Funktion der Amplitude oder Leistung der Eingangs-Hüllkurve.

2. Meßverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Erzeugen der Ausgangs-Hüllkurve mittels Synchrondemodulation (9) erfolgt.

3. Meßverfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Eingangs-Hüllkurve aus dem Eingangssignal (7) mittels Synchrondemodulation (8) gewonnen wird.

4. Meßverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3; dadurch gekennzeichnet, daß von der Ausgangs-Hüllkurve sowohl eine Inphase-Komponente als auch eine Quadratur-Komponente erzeugt wird, indem der Referenzträger für

die Erzeugung der Quadratur-Komponente um 90° in der Phase verschoben wird, und daß aus der Inphase-Komponente und der Quadratur-Komponente der Phasenwinkel der Ausgangs-Hüllkurve gewonnen und angezeigt wird.

5. Meßverfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß eine Phasenkennlinie in Form des Phasenwinkels des Ausgangssignals (6) als Funktion der Amplitude oder Leistung der Eingangs-Hüllkurve oder als Funktion der Amplitude oder Leistung der Ausgangs-Hüllkurve angezeigt wird.

6. Meßverfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Erzeugung der Inphase-Komponente und der Quadratur-Komponente durch getrennte Synchrondemodulation (9, 10) erfolgt.

7. Meßverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Referenzträger vor der Erzeugung der Ausgangs-Hüllkurve um einen Phasenwinkel verschoben wird, der der Signallaufzeitverzögerung durch den Hochfrequenz-Leistungsverstärker (3) entspricht.

8. Entzerrungsverfahren zum automatischen Entzerren eines Hochfrequenz-Leistungsverstärkers (3) mit folgenden Verfahrensschritten:

- Messen eines Abgleich-Eingangssignals (7) und eines zugehörigen Abgleich-Ausgangssignals (6) des Hochfrequenz-Verstärkers (3) in einem Abgleichmodus,

- Aufteilen (8) des Abgleich-Eingangssignals (7) in eine Eingangs-Hüllkurve und einen Referenzträger,

- Erzeugen (9) einer Ausgangs-Hüllkurve aus dem Abgleich-Ausgangssignal des Hochfrequenz-Verstärkers (3) unter Verwendung des aus dem Abgleich-Eingangssignal erzeugten Referenzträgers,

- Erzeugen (24) eines Amplituden-Korrekturfaktors als Funktion der Amplitude des Eingangssignals, der von dem Verhältnis der Amplituden der Ausgangs-Hüllkurve und der Eingangs-Hüllkurve des in dem Abgleichmodus gemessenen Abgleichsignals abhängig ist, und

- Durchführen einer automatischen Amplitudenvorverzerrung (2), indem die Amplitude des Eingangssignals des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers (3) mit dem Amplituden-Korrekturfaktor korrigiert wird.

9. Entzerrungsverfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet,

daß von der Ausgangs-Hüllkurve sowohl eine Inphase-Komponente als auch eine Quadratur-Komponente erzeugt wird, indem der Referenzträger für die Erzeugung der Quadratur-Komponente um 90° in der Phase verschoben wird,

daß aus der Inphase-Komponente und der Quadratur-Komponente der Phasenwinkel der Ausgangs-Hüllkurve gewonnen wird,

daß ein Phasen-Korrekturfaktor als Funktion der Amplitude des Eingangssignals erzeugt wird, der von dem Phasenwinkel der Ausgangs-Hüllkurve des in dem Abgleichmodus gemessenen Abgleichsignals abhängig ist, und

daß eine automatische Phasenvorverzerrung (2) durchgeführt wird, indem die Phase des Eingangssignals des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers mit dem Phasen-Korrekturfaktor korrigiert wird.

10. Entzerrungsverfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Erzeugung der Inphase-Komponente und der Quadratur-Komponente durch getrennte Synchrondemodulation (9, 10) erfolgt.

11. Entzerrungsverfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Amplituden-Korrekturfaktor und ggf. der Phasen-Korrekturfaktor einer Vorverzerrungseinrichtung (2) zugeführt werden, deren Aussteuer-Kennlinie und ggf. Phasen-Kennlinie durch den Amplituden-Korrekturfaktor und ggf. den Phasen-Korrekturfaktor in dem Abgleichmodus invers zu der Aussteuer-Kennlinie und ggf. Phasen-Kennlinie des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers (3) eingestellt werden.

12. Entzerrungsverfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Eingangs-Hüllkurve, die Ausgangs-Hüllkurve bzw. die Inphase-Komponente und die Quadratur-Komponente der Ausgangs-Hüllkurve digitalisiert werden und der Amplituden-Korrekturfaktor und ggf. der Phasen-Korrekturfaktor in einem Steuerrechner (24) berechnet werden.

13. Entzerrungsverfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Abgleichsignal ein amplitudenmoduliertes Einfachträgersignal ist.

14. Entzerrungsverfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Abgleichsignal ein Multiträgersignal ist, wobei sich sämtliche Träger der Multiträgersignals im gleichen Phasenzustand befinden.

15. Entzerrungsverfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Hochfrequenz-Leistungsverstärker (3) modular aus mehreren parallel arbeitenden Teilverstärkern zusammengesetzt ist und daß das Messen des Abgleich-Eingangssignals und des zugehörigen Abgleich-Ausgangssignals in dem Abgleichmodus nur an einem der Teilverstärker erfolgt und der für diesen Teilverstärker erzeugte Amplituden-Korrekturfaktor und ggf. Phasen-Korrekturfaktor für die anderen Teilverstärker übernommen wird.

16. Meßeinrichtung (5) zum Messen der Verzerrung eines Hochfrequenz-Leistungsverstärkers (3) mit

- einer Einrichtung zur Erzeugung eines Referenzträgers aus einem gemessenen Eingangssignal (7) des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers (3),

- einem ersten Synchrondemodulator (8) zur Erzeugung einer Eingangs-Hüllkurve aus dem gemessenen Eingangssignal und dem Referenzträger,

- einem zweiten Synchrondemodulator (9) zur Erzeugung einer Inphase-Komponente einer Ausgangs-Hüllkurve aus dem gemessenen Ausgangssignals (6) des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers (3) und dem Referenzträger,

- einem Phasenschieber (12) zur Verschiebung der Phase des Referenzträgers um 90° ,

- einem dritten Synchrondemodulator (10) zur Erzeugung einer Quadratur-Komponente der Ausgangs-Hüllkurve aus dem gemessenen Ausgangssignals des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers (3) und dem um 90° phasenverschobenen Referenzträger,

- einer ersten Anzeigeeinrichtung (13) zum Anzeigen einer Aussteuer-Kennlinie des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers in Form der Amplitude oder Leistung der Ausgangs-Hüllkurve als Funktion der Amplitude oder Leistung der Eingangs-Hüllkurve, und/oder

- einer zweiten Anzeigeeinrichtung (18) zum Anzeigen einer Phasen-Kennlinie der Hochfrequenz-Leistungs-

verstärkers in Form des durch das Verhältnis der Quadratur-Komponente zur der Inphase-Komponente gegebenen Phasenwinkels des Ausgangssignals (6) als Funktion der Amplitude oder Leistung der Eingangs-Hüllkurve oder als Funktion der Amplitude oder Leistung der Ausgangs-Hüllkurve.

17. Entzerrungseinrichtung (5, 20) zum automatischen Entzerren eines Hochfrequenz-Leistungsverstärkers (3) mit
 - einer Einrichtung zur Erzeugung eines Referenzträgers aus einem gemessenen Abgleich-Eingangssignal (7) des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers (3),
 - einem ersten Synchrondemodulator (8) zur Erzeugung einer Eingangs-Hüllkurve aus dem gemessenen Abgleich-Eingangssignal und dem Referenzträger,
 - einem zweiten Synchrondemodulator (9) zur Erzeugung einer Inphase-Komponente einer Ausgangs-Hüllkurve aus einem gemessenen Abgleich-Ausgangssignal des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers (3) und dem Referenzträger,
 - einem Phasenschieber (12) zur Verschiebung der Phase des Referenzträgers um 90° ,
 - einem dritten Synchrondemodulator (10) zur Erzeugung einer Quadratur-Komponente der Ausgangs-Hüllkurve aus dem gemessenen Ausgangssignal des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers (3) und dem um 90° phasenverschobenen Referenzträger,
 - einer Steuereinrichtung (24) zur Erzeugung eines Amplitudenkorrektur-Steuersignals und/oder eines Phasenkorrektur-Steuersignals aus der Eingangs-Hüllkurve, der Inphase-Komponente der Ausgangs-Hüllkurve und/oder der Quadratur-Komponente der Ausgangs-Hüllkurve und
 - einer Vorverzerrungseinrichtung (2), deren Aussteuer-Kennlinie und Phasen-Kennlinie durch den Amplituden-Korrekturfaktor und/oder den Phasen-Korrekturfaktor in dem Abgleichmodus invers zu der Aussteuer-Kennlinie und/oder Phasen-Kennlinie des Hochfrequenz-Leistungsverstärkers (3) eingestellt werden, wobei die Aussteuer-Kennlinie durch die Amplitude oder Leistung der Ausgangs-Hüllkurve als Funktion der Amplitude oder Leistung der Eingangs-Hüllkurve und die Phasen-Kennlinie durch den Phasenwinkel des Ausgangssignals (6) als Funktion der Amplitude oder Leistung der Eingangs-Hüllkurve oder als Funktion der Amplitude oder Leistung der Ausgangs-Hüllkurve gegeben sind.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

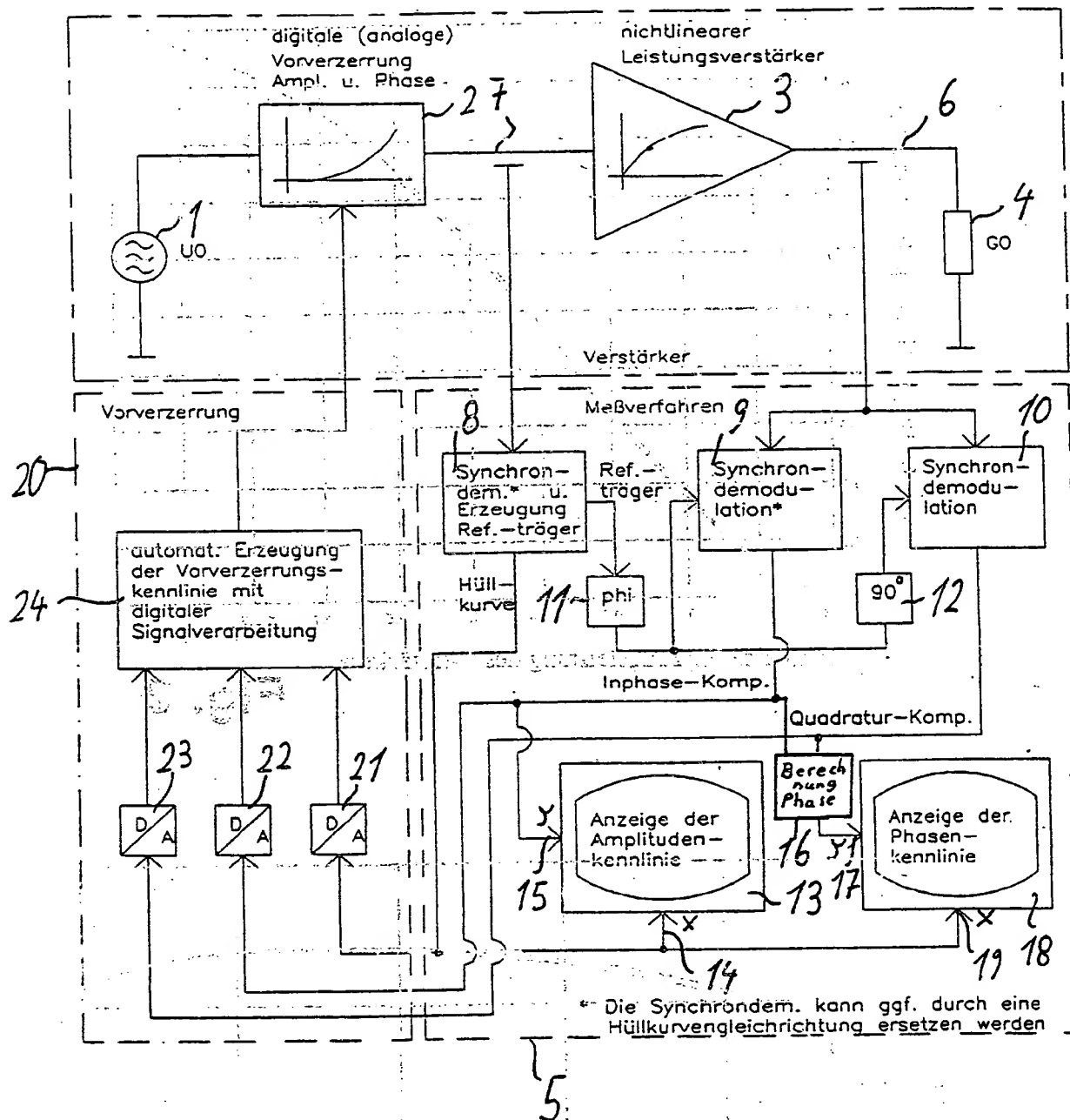


Fig. 1

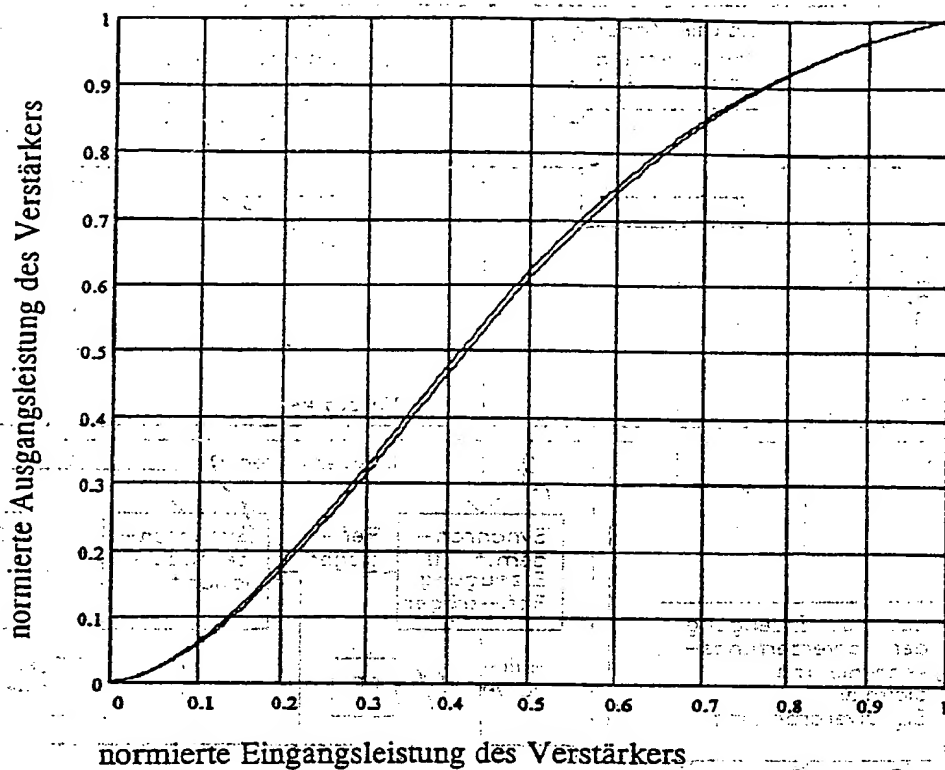


Fig. 2

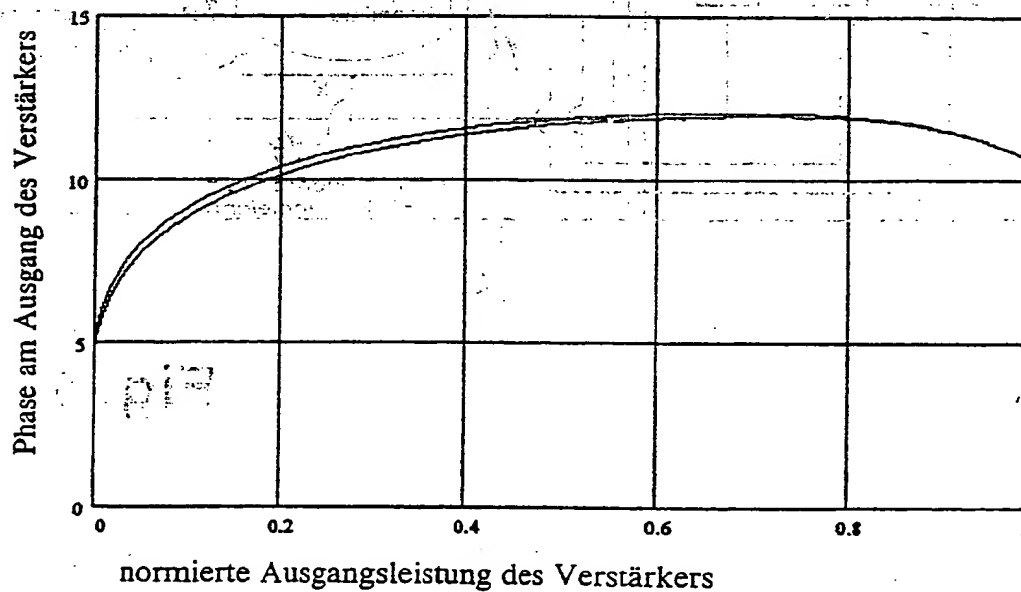


Fig. 3

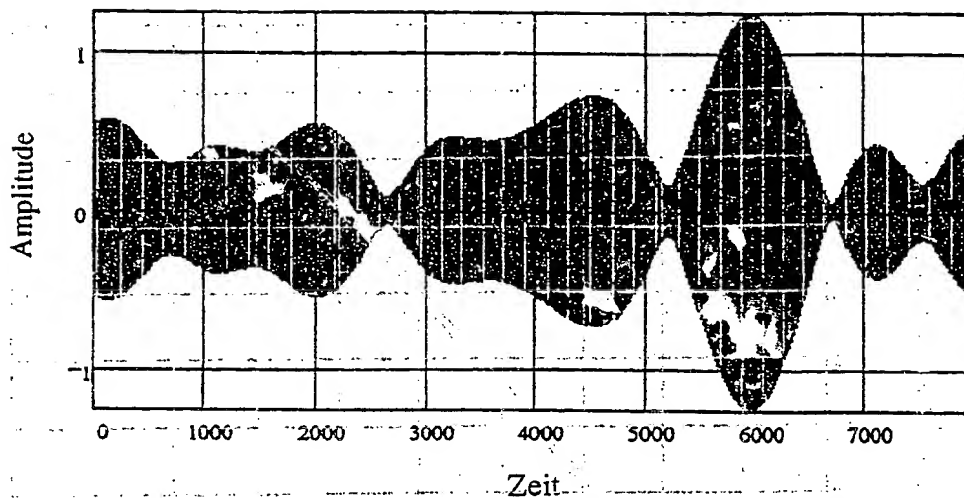


Fig. 4

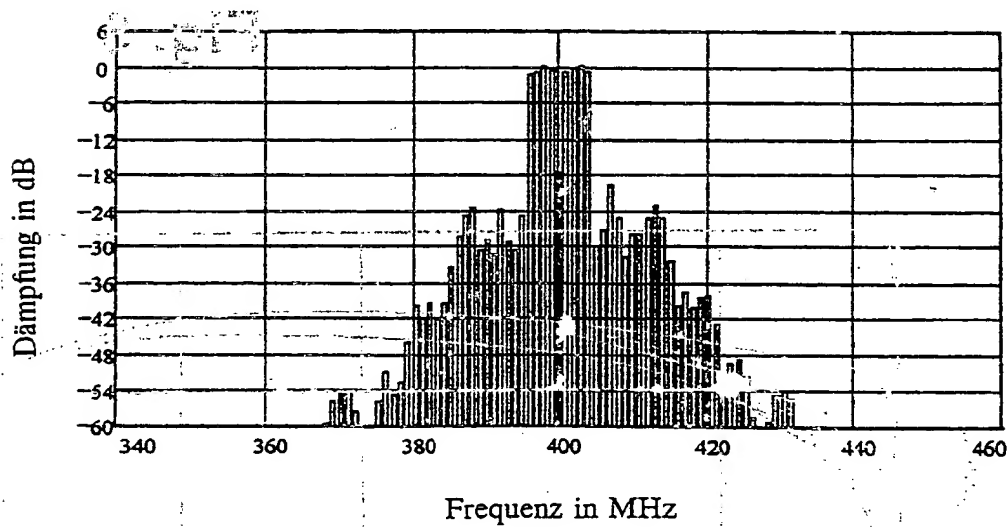


Fig. 5

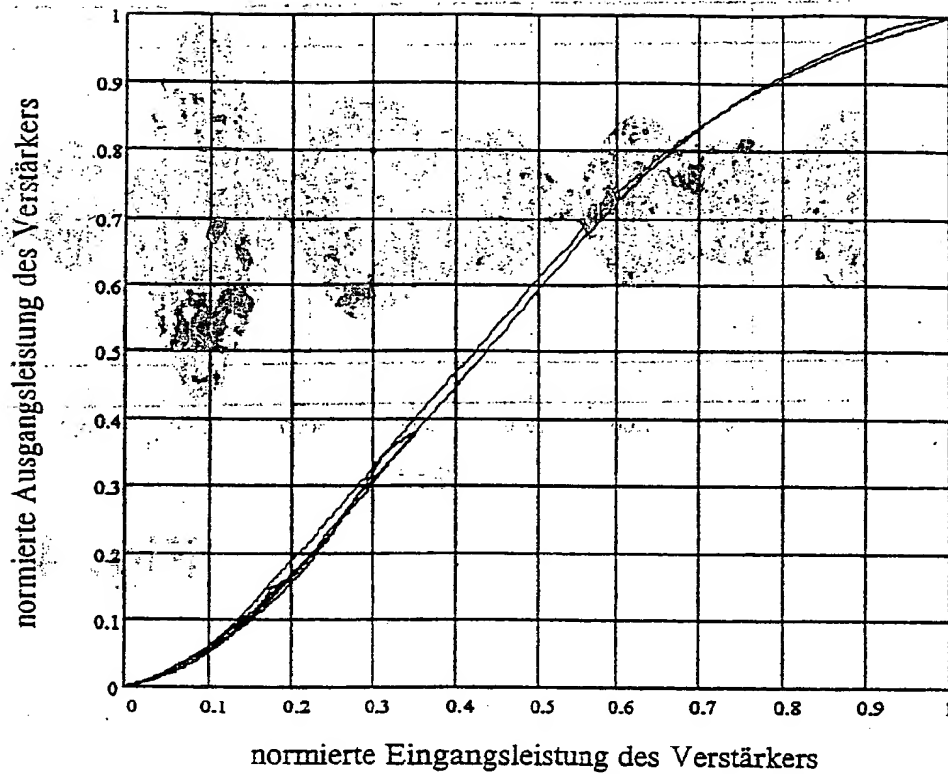


Fig. 6

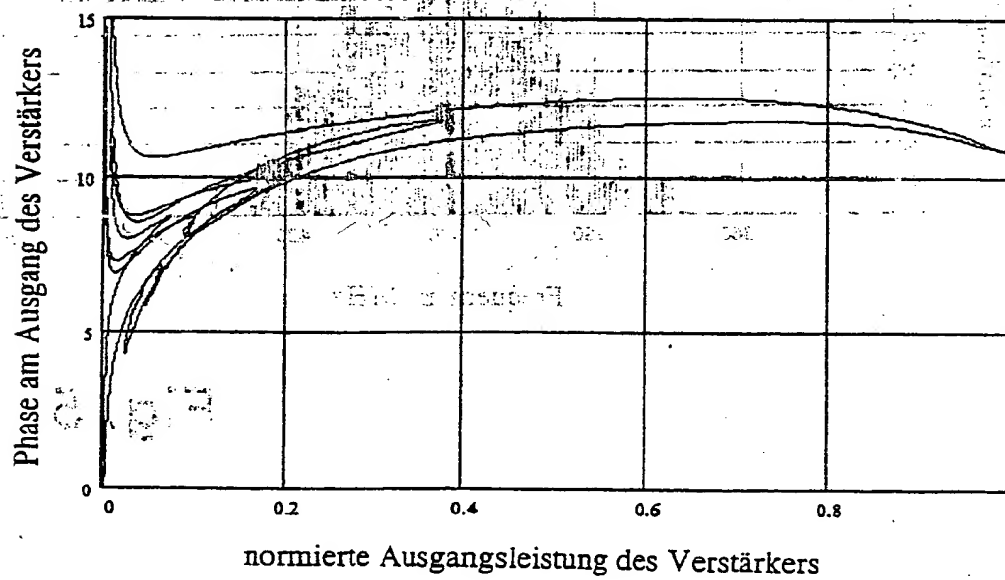


Fig. 7

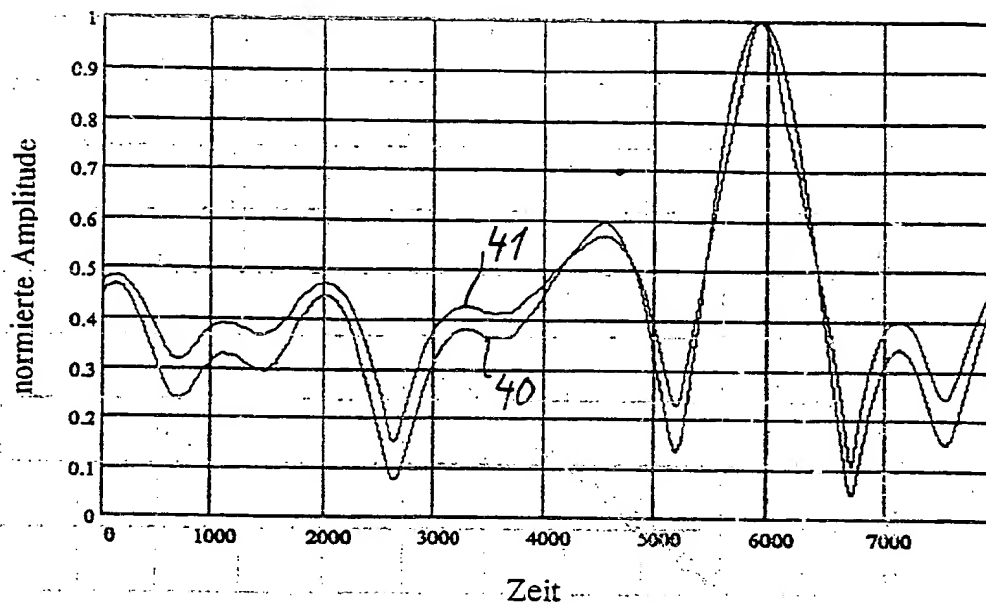


Fig. 8

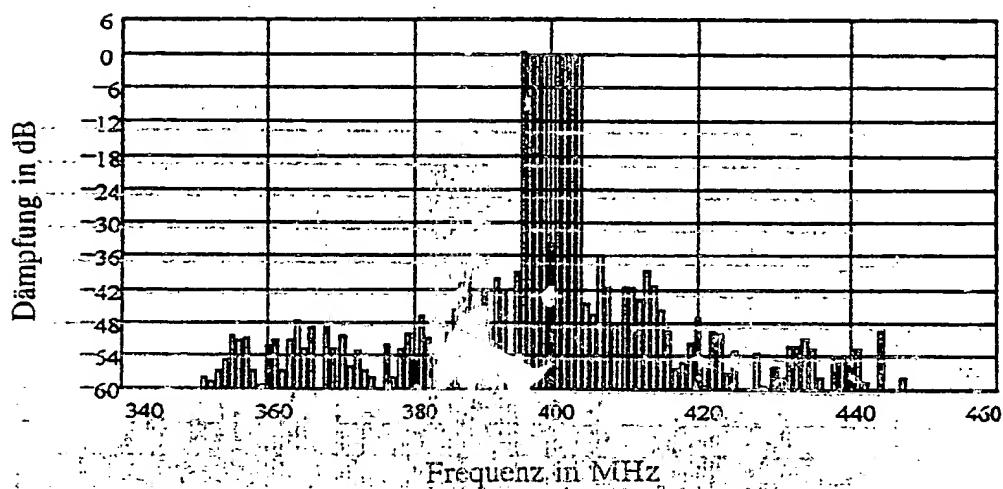


Fig. 9

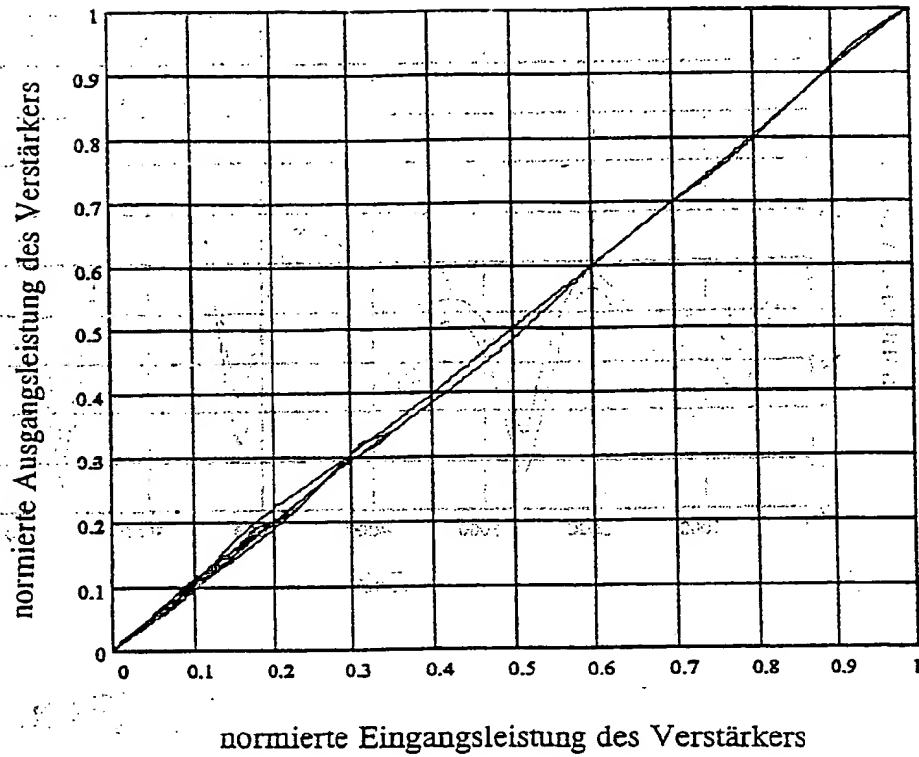


Fig. 10

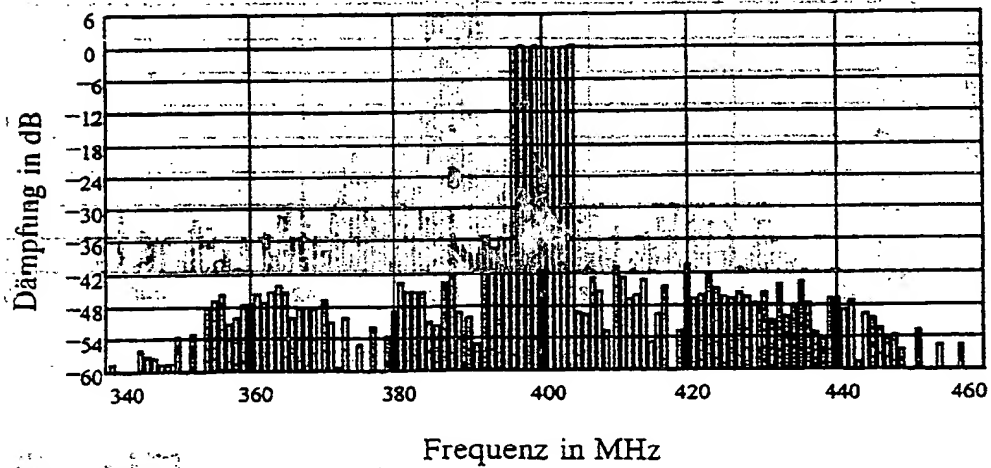


Fig. 11

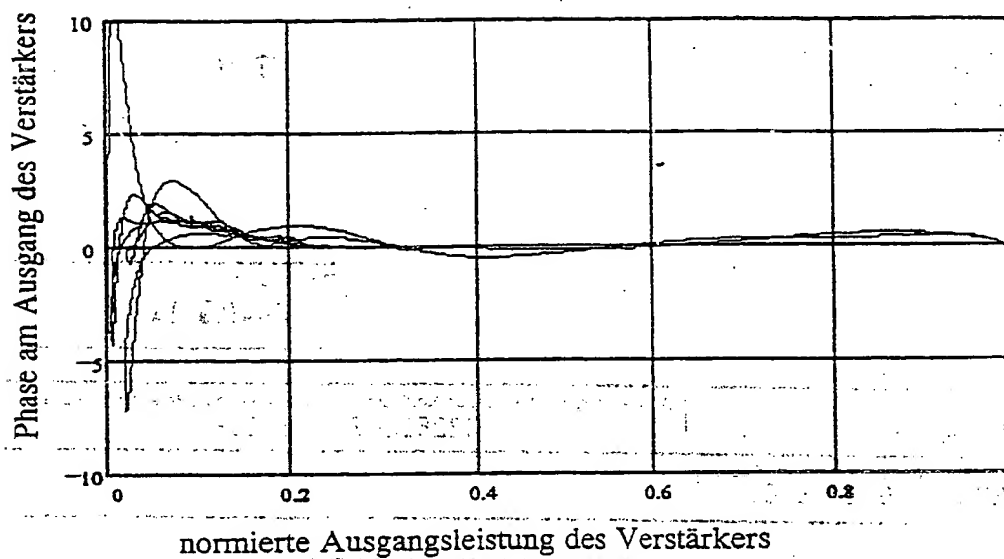


Fig. 12

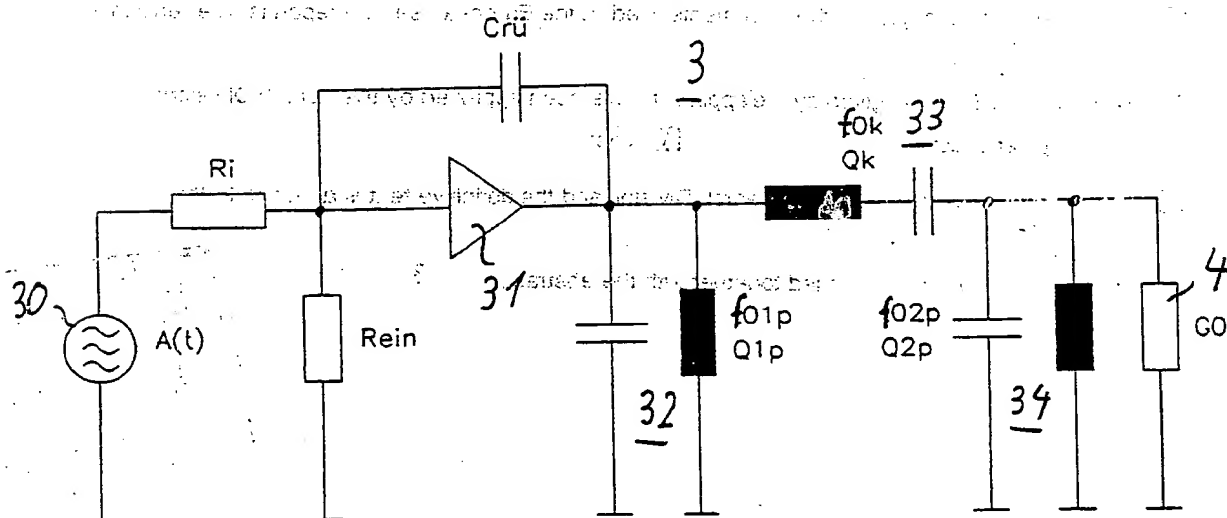


Fig. 13